تأثیر افزایش طول مؤثر بر مشخصات هیدرولیکی و ضریب تخلیه سرریز جانبی★

حامد زاهدی خامنه(۱)	سعیدرضا خداشناس(۲)	محمدرضا اکبرزاده(۳)	کاظم اسماعیلی(٤)

چکیده *سرریز جانبی، سازه‌ای برای کنترل و انتقال جریان می‌باشد. این سازه در کانال‌های آبیاری و زهکشی، شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب و آبگیری از رودخانه‌ها به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در جریان‌های سیلابی عملکرد این سرریزها به‌شدت کاهش می‌یابد. یکی از راه‌های بالا بردن راندمان سرریز جانبی و بهبود عملکرد آن هنگامی که جریان سیلابی است، استفاده از سرریزهای مایل نسبت به جهت جریان (سرریزهایی که در پلان با زاویه نسبت به جهت جریان قرار گرفته‌اند) می‌باشد. از این نوع سرریزها به‌خصوص در مکان‌هایی که با محدودیت بازشدگی روبه‌رو هستیم استفاده می‌شود. در پژوهش حاضر ۷۰ آزمایش بر سرریزهای جانبی نیم دایره‌ای در ارتفاع و طول‌های مختلف انجام گرفت. تأثیر پارامترهای مختلف هندسی و هیدرولیکی بر روی ضریب تخلیه سرریز جانبی (C_m) مورد بررسی قرار گرفت و در پایان رابطه جدیدی برای برآورد C_m برای سرریزهای نیم‌دایره‌ای ارائه گردید. نتایج نشان داد که سرریزهای نیم‌دایره‌ای با افزایش ۱.۵۷ طول سرریز ضریب C_m را ۱.۵ تا ۲ برابر نسبت به سرریزهای مستطیلی ساده افزایش می‌دهد.*

واژه‌های کلیدی سرریز جانبی نیم‌دایره‌ای، پروفیل سطح آب، طول مؤثر، ضریب تخلیه، مدل‌های آزمایشگاهی.

Study on Influence Increase Effective Length on the Hydraulic Characteristic and Discharge Coefficient in Side Weirs

H. Zahedi khameneh	S. R Khodashenas	M. R. Akbarzadeh	K. Esmaili

Abstract *One of the most important discharge control ways in hydraulic structures is side weir which is used in irrigation, water distribution, waste-water engineering, drainage, flood control and other water related projects.In order to increases C_m value and control on water surface when there is restriction in the weir length(L), side weir with different geometry is used. In present research seventhly experimental tests were conducted on the semi-circular side weir with different lengths and heights(w).Studied the influence of hydraulic and geometry variableson the C_m valueand a new equation was developed to calculate discharge coefficient of the semi-circular side weir. The results indicated C_m in the semi-circular side weir is 1.5 to 2 times morethan rectangular side weir.*

Key Words Semi-Circularside Weir, Water surface Profile, Effective Length, Discharge Coefficient, Experimental model.

★ تاریخ دریافت مقاله ۹۱/۲/۱۲ و تاریخ پذیرش آن ۹۲/۱۲/۱۹ می‌باشد.

(۱) دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

(۲) نویسنده‌ی مسؤول: دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

(۳) مربی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

(٤) دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

مقدمه

سرریز جانبی یکی از متداول‌ترین سازه‌های هیدرولیکی است که به‌عنوان یک سازه‌ی انحرافی در رودخانه‌ها، کانال‌های آبیاری و زهکشی و نیز سیستم جمع‌آوری فاضلاب شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند. آبگیری در این نوع سازه به‌صورت ثقلی است و به‌دلیل پیوسته بودن جریان انتقالی و عدم صرف انرژی اضافی (نظیر ایستگاه‌های پمپاژ) برای انتقال آب، کاربرد گسترده‌ای دارد. در معمولی‌ترین نوع سرریزهای جانبی، سرریز به شکل مستطیلی به‌صورت موازی برای جریان در کانال اصلی قرار می‌گیرد که در این حالت کانال جانبی (کانال انتقال آب) دارای زاویه نسبت به کانال اصلی می‌باشد.

جریان عبوری از روی سرریز جانبی وابسته به پارامترهای هندسه‌ی سرریز (طول بازشدگی سرریز، طول تاج سرریز، ارتفاع سرریز و ..)، هیدرولیک جریان (ارتفاع جریان در کانال اصلی، سرعت جریان، عدد فرود و...) و مشخصات سیال (لزجت، دما و...) می‌باشد. برخی از این پارامترهای به‌صورت مستقیم قابل اندازه‌گیری هستند. ضریب تخلیه‌ی سرریز جانبی (C_m) تأثیر پارامترهایی را که به‌صورت مستقیم قابل اندازه‌گیری نیستند بیان می‌کند. براساس مطالعات انجام گرفته بر روی سرریزهای جانبی، C_m رابطه‌ی مستقیمی با دبی عبوری از روی سرریز جانبی دارد. جریان روی سرریز جانبی از نوع متغیر مکانی با کاهش دبی می‌باشد. جریان متغیر مکانی، حالتی از جریان دائمی است که شدت جریان در طول مسیر افزایش یا کاهش یابد.

مطالعات تئوری و آزمایشگاهی زیادی بر روی سرریزهای جانبی انجام گرفته است. دیدگاه بیش‌تر پژوهشگران موافق با ثابت در نظر گرفتن مقدار تغییرات انرژی در طول سرریز است. این دسته معتقدند که شاخه‌ای شدن جریان باعث به‌وجود آمدن افت انرژی نمی‌شود یا این‌که مقدار آن در مقایسه با افت ناشی از اصطکاک قابل صرف‌نظر است. مطالعات دو مارچی [1] در سال ۱۹۳٤ را می‌توان پایه و اساس این نظریه و هم‌چنین مطالعات بعدی بر روی سرریزهای جانبی دانست. او با فرض ثابت بودن انرژی مخصوص در طول سرریز جانبی، رابطه‌ای برای به‌دست آوردن طول سرریز ارائه داد:

$$L=\frac{3}{2}\frac{B}{C_m}(\varphi_2-\varphi_1) \quad (۱)$$

که در آن L معرف طول سرریز، B عرض کانال اصلی و φ_1 و φ_2 مقادیر معادله‌ی (۲) به‌ترتیب در بالادست و پایین‌دست سرریز می‌باشد:

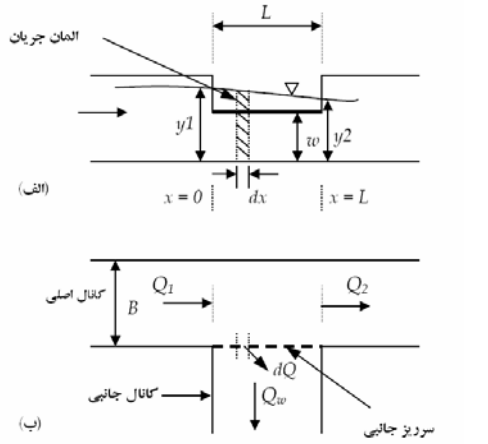
$$\varphi(y,E,w)=\frac{2E-3w}{E-w}\sqrt{\frac{E-y}{y-w}}-3\sin^{-1}\sqrt{\frac{E-y}{E-w}} \quad (۲)$$

که در آن y عمق جریان در کانال اصلی، w ارتفاع سرریز و E انرژی مخصوص در کانال اصلی می‌باشد.

پس از دو مارچی [1] مطالعات زیادی بر روی سرریز جانبی انجام گرفت که بیش‌تر آن‌ها مربوط به سرریزهای جانبی نرمال می‌باشد. منظور از سرریز جانبی نرمال، سرریز جانبی مستطیلی لبه تیزی می‌باشد که به‌صورت موازی با جهت جریان در دیوار کانال اصلی قرار داده شده است. در بسیاری از این آزمایش‌ها که برای برآورد C_m سرریز مستطیلی بوده است، C_m را تابعی از عدد فرود جریان در بالادست سرریز جانبی در کانال اصلی (Fr_1) نام بردند [2,3,4,5,6].

سوامی و همکاران [7] روش آنالیز سرریزهای جانبی را با استفاده از ضریب شدت جریان المانی بررسی نمودند.سینگ و همکاران [8] در بررسی خود بر روی سرریز جانبی نرمال به این نتیجه رسیدند که C_m علاوه بر Fr_1 تابعی از w/y_1 نیز می‌باشد که در آن y_1 ارتفاع جریان در کانال اصلی در بالادست سرریز جانبی می‌باشد. برقعی و همکاران [9] با انجام آزمایش‌های گسترده‌ای بر روی سرریزهای جانبی بیان داشتند که در جریان‌های زیر بحرانی، شیب کانال اصلی تأثیر چندانی بر روی ضریب دبی ندارد و

رابطه‌ی رگرسیونی با استفاده از سه پارامتر w/y_1،Fr_1 و L/B بـرای محاسـبه C_m ارائـه دادنـد. امیـر اوغلـو و همکاران [10] آزمایش‌هایی بر روی سرریزهای لبه تیز مستطیلی انجام دادنـد و گـزارش دادنـد کـه در $\frac{L}{B}\geq 1$ رابطه مستقیم بین C_m و Fr_1 وجود دارد. آنها هم‌چنین بیان کردند کـه تـأثیر دو پـارامتر L/B و L/y_1 بـر روی ضریب تخلیه را نمی‌توان نادیده گرفت.



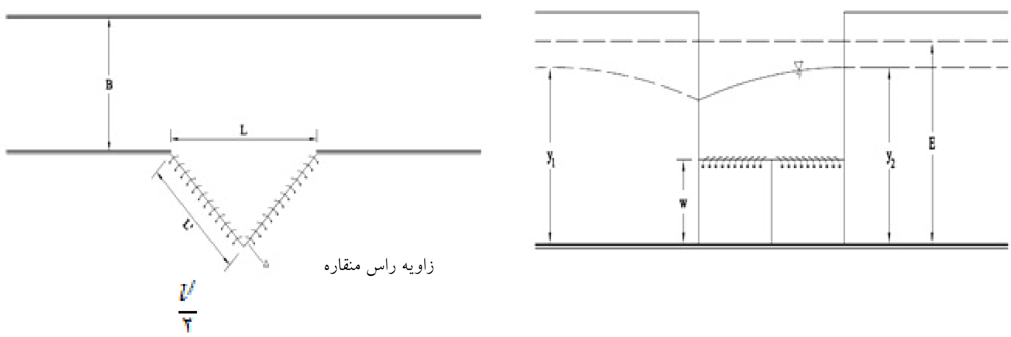
شکل ۱ نمای کلی سرریز جانبی نرمال، الف) مقطع، ب) پلان

در سـال ۲۰۰۱ یـورا و همکـاران [11] مطالعـاتی تحلیلی و آزمایشگاهی بر روی سرریزهای جانبی مایل انجام دادند و به بررسی معایب سرریز جانبی پرداختنـد و سعی در رفع یا کاهش آنها داشتند. آنها معتقد بودند که سرریزهای جانبی معمولی دارای معایب ذاتی ماننـد پدیده dجداشدگی جریـان و کـاهش ضـریب دبـی بـا افزایش عدد فرود (Fr) در کانال اصلی می‌باشند. به این ترتیب، با قرار دادن سرریز جانبی به‌صورت مایل نسبت به کانال اصلی سعی در کاهش این معایب داشتند. آنهـا با انجام آزمایش‌های مختلف بر روی سرریزهای جانب مایل به این نتیجه رسیدند کـه بـه‌تـرین حالـت زمـانی است که سرریز با زاویه °۷۰ نسبت به کانال اصلی قرار بگیـرد. هـم‌چنـین ایشـان رابطـه‌ای بـرای بـرآورد C_m برحسب عدد فرود بالادست (Fr_1) و زاویه‌ی قرارگیری سرریزجانبی مایل θ ارائه دادند. نکـوئی [12] در سـال ۱۳۸۵ به بررسـی سـرریز جـانبی منقـاره‌ای پرداختنـد.

ایشان نشان دادند که افزایش طول مؤثر سـرریز باعـث افزایش ضریب C_m سرریز جانبی مـی‌شـود. منظـور از طول مؤثر، آن طولی از سرریز می‌باشد کـه بـه‌صـورت فعال در انتقال جریان از روی سرریز مشارکت دارد یـا به عبارت دیگر طول تاج سرریز که جریـان را از روی خود عبور می‌دهد. آنها بیان داشتند که رابطه‌ی عکسی بین زاویه‌ی رأس منقاره‌ها و C_m وجود دارد و به‌تـرین حالت زمانی است که زاویـه‌ی رأس سـرریز منقـاره‌ای برابر با °۶۰ باشد. برقعی و پروانه [13] در سال ۲۰۰۹ آزمایش‌هایی بـر روی نـوع جدیـدتری از سـرریزهای مایل که قابلیت آبگیری از هر دو ضلع سرریز را دارنـد انجام دادند. آنها بیـان داشـتند کـه سـرریزهای مـورد آزمایش‌شان تا ۳۵٪ ضریب تخلیه‌ی دبی را نسـبت بـه سرریزهای نرمال افزایش می‌دهد. امیراوغلوو همکـاران [14] به بررسی سرریزهای جانبی تک‌منقاره پرداختنـد. نتایج آزمـایش‌هـای آنهـا نشـان داد کـه سـرریزهـای منقـاره‌ای بـا زاویـه‌ی رأس °۴۵ دارای ضـریب C_m بالاتری می‌باشند. هم‌چنین بیان کردنـد کـه بـا افـزایش عدد فرود بالادست ضریب دبی سرریز افزایش می‌یابد. در سال ۲۰۱۰ کایا و همکاران [15] آزمایش‌هایی را بر روی سـرریزهای نیمـه‌بیضـوی در کانـال مسـتطیلی و تحت شرایط جریان زیر بحرانی انجام دادند. ایشان بیان داشتند که هنگامی که نسبت دو قطر بیضـی برابـر ۱.۵ است سرریزهای نیمه بیضوی عملکرد به‌تـر و ضـریب C_m بزرگتـری دارنـد. امیراوغلـو و کایـا [16] در سـال ۲۰۱۰ بـه بررسـی سـرریزهای زیگزاگـی بـا آرایـش ذوزنقه‌ای پرداختند. ایشان بیان داشـتند کـه بـا کـاهش زاویه‌ی دیواره‌ی سرریز ذوزنقه‌ای (α) و افزایش طـول مؤثر سرریز ضریب C_m افزایش مـی‌یابـد. نتـایج آنهـا نشان داد که $\alpha =$ °۱۶ بهتـرین حالـت در بـین زوایـای مـورد آزمـایش بـوده اسـت. ایشـان بیـان داشـتند کـه سـرریزهای زیگزاگـی بـا آرایـش ذوزنقـه‌ای ضـریب تخلیه‌ی دبی را ۱.۵ تا ۵ برابر نسبت به سـرریز جـانبی نرمال افزایش می‌دهند. جدول شـماره‌ی (۱) برخـی از

روابط ارائه شده برای C_m را نشان می‌دهد.

با توجه به بررسی‌های انجام‌گرفته بر روی سرریزهای جانبی مایل، نیاز به تحقیق و انجام آزمایش‌های بیش‌تری بر روی سرریزهای جانبی می‌باشد. سرریزهایی با شکل تاج مختلف و در پلان‌هایی متفاوت که بتوانند باعث افزایش عملکرد سرریز جانبی شوند و معایب ذاتی آن را کاهش دهند. هدف کلی این طرح، بررسی کارایی و توانایی جایگزینی سرریزهای با پلان متفاوت به‌جای سرریزهای نرمال است. بدین منظور با انتخاب سرریز تک نیم‌دایره‌ای و با تغییر پارامترهای هیدرولیکی و هندسی مربوط به کانال و سرریز این مطلب مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین ۷۰ آزمایش برای مقادیر مختلفی از طول سرریز (L)، ارتفاع سرریز (w) و جریان ورودی (Q_1) بر روی سرریزهای جانبی تک نیم‌دایره انجام گرفت. پروفیل سطح جریان در کانال اصلی و ضریب شدت جریان مورد بررسی قرار گرفت و در پایان رابطه‌ی جدیدی برای برآورد C_m در سرریزهای نیم دایره‌ای ارائه گردید.



شکل ۲ پلان و مقطع سرریز جانبی تک منقاره مورد آزمایش نکویی [3] و امیراوغلو و همکاران [14]

جدول ۱ برخی از روابط ارائه شده برای C_m

عدد فرود	معادله C_m	مرجع
0.02–0.85	$C_m = 0/611\left[\left(1-\left(\frac{3Fr_1^2}{2+Fr_1^2}\right)\right)^{0/5}\right]$	سابرامانیا و آواسی [3]
0.0–0.87	$C_m = 0/485\left[\left(2+\frac{Fr_1^2}{2}+3Fr_1^2\right)^{0/5}\right]$	هیگر[2]
0.23–0.43	$C_m = (0/33)-(0/18Fr_1)+(0/49\frac{w}{y_1})$	سینگ و همکاران[8]
0.1–0.9	$C_m = (0/7)-(0/48Fr_1)-(0/3\frac{w}{y_1})+(0/06\frac{L}{B})$	برقعی و همکاران[9]
----------	$C_m = 0/611\left[\cos\theta\left(\frac{3Fr_1^2}{2+Fr_1^2}\right)^{0/5}+\sin\theta\left(1-\left(\frac{3Fr_1^2}{2+Fr_1^2}\right)\right)^{0/5}\right]\sin\theta$	اورا و همکاران[11]
0.07–0.93	$C_m = \left[18/6-\left(23/535\left(\frac{L}{B}\right)^{0/012}\right)+\left(6/769\left(\frac{L}{l'}\right)^{0/112}\right)-\left(0/502\left(\frac{w}{y_1}\right)^{4/024}\right)+(0/094\sin\theta)-(0/393Fr_1^{2/155})\right]^{-1/431}$	امیر اوغلو و همکاران[14]

مواد و روش‌ها

تحلیل ابعادی. روابط حاکم بر بسیاری از پدیده‌های هیدرولیکی را نمی‌توان مستقیماً از قوانین حاکم بر حرکت سیالات و تئوری‌های موجود نظیر قوانین بقای جرم، بقای انرژی و بقای ممنتم به‌دست آورد. در چنین مواردی سعی می‌شود برای استخراج رابطه‌ی ریاضی حاکم بر چنین پدیده‌هایی، ابتدا همه‌ی متغیرهای لازم که در به‌وجود آوردن آن پدیده نقش دارند مشخص گردند.

متغیرهای بدون بعد در مطالعات آزمایشگاهی از اهمیت بسزایی برخوردار می باشند. برای بررسی ضریب دبی سرریز جانبی نیز تمامی متغیرهای مؤثر، مورد شناسائی قرار گرفتند، سپس با استفاده از قضیه‌ی π باکینگهام، رابطه‌ای بین این پارامترها به‌صورت رابطه‌ای فیزیکی از متغیرهای بدون بعد بیان شد. متغیرهای مختلفی بر ضریب دبی سرریزهای جانبی تأثیرگذارند که در قالب سه گروه کلی به صورت زیر بیان می‌شوند:

۱- متغیرهای مربوط به خصوصیات جریان عبارتند از متغیرهای، عمق جریان در بالادست سرریز (y_1)، عمق جریان در پایین‌دست سرریز (y_2)، سرعت جریان در مقطع بالادست (v_1)، سرعت جریان در مقطع پایین‌دست (v_2)، شتاب گرانش زمین (g) و زاویه‌ی انحراف جریان (ψ).

۲- متغیرهای مربوط به شکل و هندسه‌ی کانال و سرریزهای جانبی شامل طول بازشدگی(L)،طول مأثر سرریز(l’)، شیب کانال اصلی (S0)، عرض کانال اصلی (B)، ارتفاع سرریزهای جانبی (w)، زاویه‌ی رأس منقاره‌ها (Θ) و طول بیرون‌زدگی سرریز (h).

۳- خصوصیات مربوط به سیال که عبارتند از لزجت دینامیکی (μ)، چگالی سیال (ρ) و کشش سطحی (σ).

در نتیجه می‌توان نوشت:

$$C_m=\mathcal{F}(y_1,y_2,v_1,v_2,g,\psi,L,l',B,w,h,S0,\mu,\rho,\sigma,\Theta) \quad (۳)$$

تأثیر متغیرهای μ,σ و S0 بر ضریب تخلیه‌ی سرریزهای جانبی بسیار کم می‌باشد. کشش سطحی روی تاج سرریز هنگامی که ارتفاع جت ریزشی آب کم است بسیار تأثیرگذار است. برای به حداقل رساندن تأثیر آن، بر اساس تحقیقات کلمن و اسمیت در سال (۱۹۵٤) ارتفاع آب بر روی سرریز در تمامی آزمایش‌ها بزرگ‌تر از ۲۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد (به نقل از امیراوغلو وهمکاران [14]). هم‌چنین تمامی آزمایش‌ها در شرایط زیربحرانی انجام گردید. در کانال‌های باز، هنگامی که جریان آشفته باشد، جریان خیلی تحت تأثیر عدد رینولدز نمی‌باشد. از طرفی چون جریان‌های ورقه‌ای در حالت‌های خاص اتفاق می‌افتد می‌توان تأثیر پارامتر μ را در معادلات منظور ننمود. از طرفی بر اساس تحقیقات برقعی و همکاران [9]، تأثیر شیب کف کانال اصلی (S_0) بر ضریب C_m بسیار ناچیز است به‌طوری که می‌توان از آن صرف‌نظر کرد.

علاوه بر این سه پارامتر، زاویه‌ی انحراف جریان (ψ) نیز اثرگذار است که عبارت است از انحراف جت جریان از سطح آب کانال اصلی در طول سرریز جانبی و به سرعت جریان و سرعت جت خروجی از روی سرریز وابسته می‌باشد. سابرامانیا و آواسی [3] رابطه‌ی زیر را برای محاسبه‌ی زاویه‌ی انحراف جریان بیان داشته‌اند:

$$\sin\psi=\sqrt{1-\left(\frac{v_1}{v_s}\right)^2}=\sqrt{1-\left(\frac{3Fr_1^2}{Fr_1^2+2}\right)} \quad (٤)$$

که در آن v_s سرعت جت خروجی بر روی سرریز است. این رابطه نشان می‌دهد که تأثیر زاویه‌ی انحراف و سرعت جت خروجی با پارامتر Fr_1 نشان داده می‌شود. از طرف دیگر الخشاب[5] بیان کرد که پارامتر بی‌بعد طول (L/B) دربردارنده‌ی تأثیر زاویه‌ی انحراف نیز می‌باشد. از این‌رو پارامتر ψ نیز از پارامترهای مؤثر حذف گردید.

$$C_m=(y_1,v_1,g,L,l',B,w,\rho) \quad (٥)$$

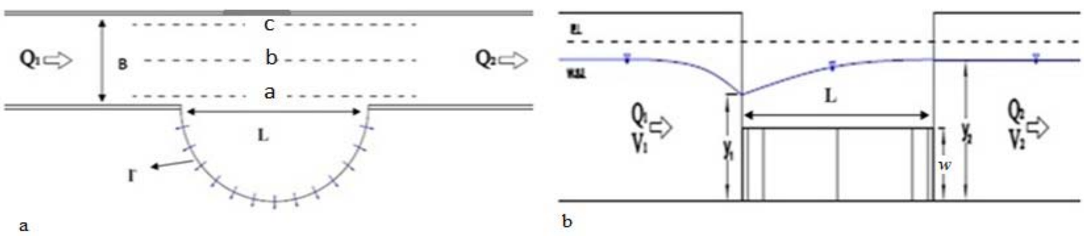
سه پارامتر ρ, y_1, v_1 به‌عنـوان متغیرهـای تکـراری انتخاب گردید. با ترکیب هریک از متغیرهای تکـراری، یک عدد بی‌بعـد حاصـل مـی‌شـود. بـا ترکیـب توابـع بدون‌بعد پارامتر زیر را می‌تـوان بـه‌عنـوان پارامترهـای مؤثر بر Cm بیان نمود:

$$C_m=(Fr_1, L/B, w/y_1, w/l') \qquad (٦)$$

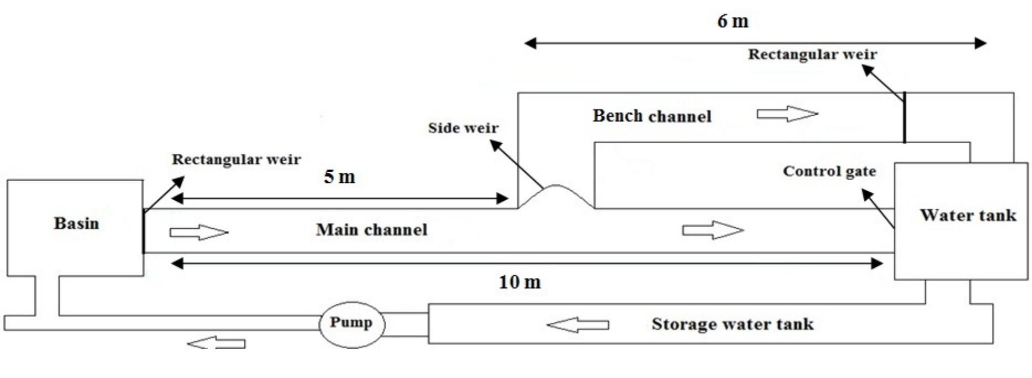
تجهیزات آزمایشگاهی. آزمایش‌ها در دو کانال انجام شد. کانال اصلی به‌طول ۱۰ متر، عرض ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد بـا دیـواره‌هـایی از جـنس شیشه و کف آن از جنس فلز با روکش رنگ می‌باشـد. کانـال اصـلی شـیب‌پـذیر اسـت و شـیب آن در طـول آزمایش‌ها ثابت و برابر ۰.۰۰۰۱ می‌باشد. کانال جـانبی، که موازی کانال اصلی، دارای طول ٦ متـر، عـرض ٤۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد. دیوار و کـف این کانال از جنس فلز است و شیب آن افقی می‌باشـد.

در ابتدای کانال جانبی مخزنی ورودی به طول و عرض ۱ متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر قرار دارد که با زاویه‌ی ۹۰ درجه بـه کانـال اصـلی متصـل اسـت و محـل نصـب سرریزهای جانبی می‌باشد. ارتفاع آب در کانـال اصـلی به‌وسیله‌ی لیمنومتر متحرکـی بـا دقـت ۰.۱ میلـی‌متـر اندازه‌گیری شده است. برای اندازه‌گیری دبی ورودی و خروجی از روی سرریز جـانبی، دو سـرریز مسـتطیلی لبه‌تیز یکی در ابتدای کانال اصلی و دیگری در انتهـای کانال جانبی نصب و کالیبره گردید (شکل (۳)).

سرریزهای جانبی بـا اسـتفاده از ورق گـالوانیزه‌ی ۱.۵ میلی‌متری ساخته شد. مدل‌ها در سه طـول ٦۰، ۵۰ و۳۰ سانتی‌متر و سه ارتفاع ۱۲.۵، ۱۰ و۷.۵ سـانتی‌متـر در حالت تک نیم‌دایره طراحی و ساخته شد (شکل ٤). در طول آزمایش مقادیر جریـان در مقطـع بالادسـت و پایین‌دست سرریز جانبی در کانال اصـلی انـدازه‌گیـری شد و مقادیر C_m و Fr_1 محاسبه گردید.



شکل ۳ نمایی از سیستم آزمایشگاهی



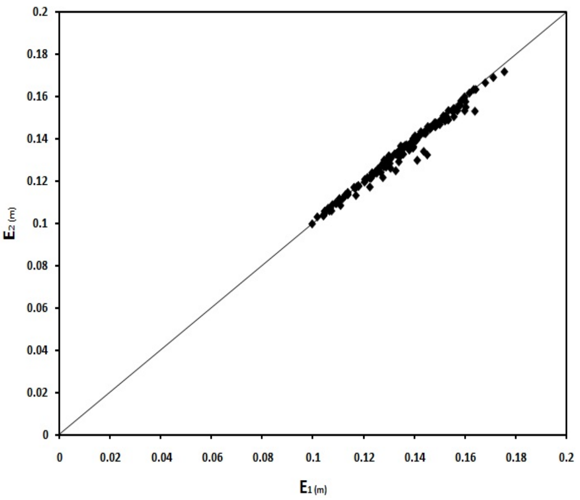
شکل٤ پلان و مقطع سرریز جانبی نیم‌دایره‌ای

نتایج

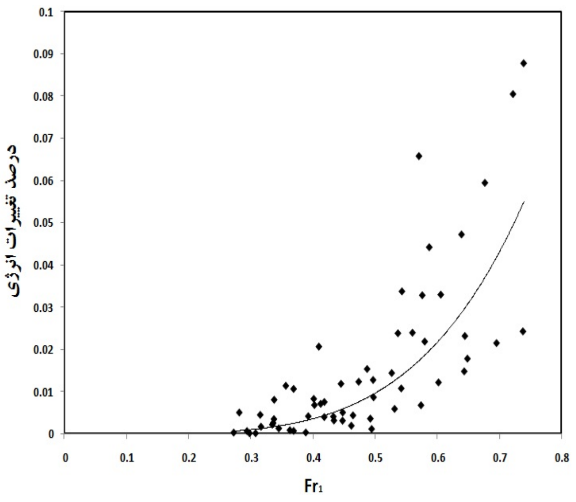
تغییرات انرژی مخصوص در طول سرریز. به‌منظور بررسی مقدار تغییرات انرژی مخصوص در طول سرریز مقادیر انرژی در دو مقطع بالادست و پایین‌دست سرریز جانبی برای تمام مدل‌ها محاسبه شده‌اند. هم‌چنین تغییرات انرژی و درصد اختلاف E_1, E_2 با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta E=(E_1-E_2) \qquad (۷)$$

$$\text{درصد تغییرات انرژی} = 100\frac{\Delta E}{E_1} \qquad (۸)$$



(الف)



(ب)

شکل ۵. الف) تغییرات E_1 و E_2 ودر برابر یکدیگر، ب) تغییرات افت انرژی در برابر Fr1

شکل (۵-الف) انرژی مخصوص را در بالادست سرریز (E_1) و پایین‌دست سرریز (E_2) در برابر هم نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد تغییرات انرژی در طول سرریز بسیار اندک است و مقادیر انرژی در نزدیکی خط E_1=E_2 می‌باشد؛ در نتیجه، فرض ثابت درنظر گرفتن انرژی در طول سرریز مورد تأیید قرار می‌گیرد. هم‌چنین درصد تغییرات انرژی مخصوص در طول سرریز با استفاده از رابطه‌ی (۸) محاسبه می‌شود (شکل ۵-ب).

$$\frac{100}{n}\sum_{1}^{n}\frac{|\Delta E|}{E_1}=1.53 \qquad (۹)$$

درصد اختلاف انرژی در تحقیقات الخشاب [5]، رانگ راجو[6]و برقعی و همکاران [9] به‌ترتیب ۵٪، ۲٪ و ۳.۷ ٪ می‌باشد. مشاهده می‌شود که درصد اختلاف انرژی نیز در محدوده‌ی قابل قبول قرار دارد و از این‌رو می‌توان با ثابت در نظر گرفتن انرژی مخصوص در طول سرریز در جریان‌های زیر بحرانی، از معادلات دو مارچی[1] برای محاسبه‌ی C_m استفاده کرد.

در شکل (۵-ب) مشاهده می‌شود با افزایش عدد فرود، درصد افت انرژی در طول سرریز بیش‌تر از حد متوسط می‌شود. با افزایش در شدت و سرعت جریان و میل عدد فرود به سمت ۱، آشفتگی جریان افزایش می‌یابد و جریان‌های گردابی بیش‌تر می‌شود. این امر باعث افزایش افت انرژی در طول سرریز می‌گردد.

بررسی پروفیل سطح آب. به‌منظور بررسی شکل حرکت جریان از کانال اصلی به‌سمت سرریز جانبی، تغییرات سطح جریان در طول سرریز جانبی نیم‌دایره‌ای و مشاهده‌ی تأثیر بازشدگی ابتدای و دیواره‌های سرریز و کانال بر روی جریان پروفیل سطح جریان در کانال اصلی در طول سرریز برداشت شد. به‌منظور بررسی پروفیل سطح جریان در کانال اصلی مقدار ارتفاع آب در امتداد سه خط a، b و c برداشت شده است (شکل (٤)). شکل (٦-الف وب) پروفیل سطح جریان را در

دو سرریز نیم‌دایره‌ای را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با توجه به انجام آزمایش‌ها در شرایط زیر بحرانی پروفیل سطح جریان در امتداد سرریز جانبی به‌طور کلی دارای روندی صعودی است [1,8]. در سرریز نیم‌دایره‌ای پروفیل جریان در امتداد خط a در ابتدای سرریز دارای افت می‌باشد. به‌دلیل اثر ناحیه‌ی ورودی سرریز [10]، جریان گردابی به‌وجود آمده در حوضچه‌ی جلوی سرریزها و هم‌چنین زاویه‌ی انحراف جریان نسبت به کانال اصلی به‌وجود می‌آید. بررسی پروفیل سطح جریان در امتداد خط a نشان می‌دهد که پس از افت اولیه ارتفاع جریان در امتداد سرریز دارای روندی صعودی است. در انتهای سرریز با یک افزایش ارتفاع ناگهانی روبه‌رو هستیم که می‌توان به‌دلیل تأثیر دیواره‌ی کانال و شکل گرفتن پرشی کوچک و جریان‌های برگشتی (به نقل از امیراوغلو و همکاران [14]) در انتهای سرریز باشد.

پروفیل طولی جریان در امتداد دو خط b و c نشان می‌دهد که افت ابتدایی در دهانه‌ی سرریز بر روی شکل جریان در کانال اصلی نیز تأثیر گذاشته است. نتایج نشان می‌دهد که سطح آب در عرض کانال اصلی در ابتدای سرریز جانبی افت کمی دارد. سطح آب در کانال اصلی پس از افت دارای یک روند افزایشی تا انتهای سرریز می‌باشد. هر چه به سمت انتهای سرریز می‌رویم روند افزایشی دارای شیب ملایم‌تری می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که یک جریان عرضی از دیواره‌ی کانال اصلی (خط c) به‌سمت دهانه‌ی بازشدگی سرریز (خط a) وجود دارد. شکل (٦-الف وب) نشان می‌دهد که در سایر بخش‌ها به جز در انتهای سرریز که به‌دلیل تأثیر دیواره‌ها و ایجاد پرش کوچک، افزایش ارتفاع ناگهانی و موضعی در امتداد a به‌وجود می‌آید عمق جریان در امتدا خط c بالاتر از عمق جریان در امتداد خط a می‌باشد که باعث حرکت جریان در عرض کانال از امتداد c به‌سمت سرریز جانبی می‌شود.

بررسی پارامترهای مؤثر بر C_m. همان‌طور که پیش‌تر ذکر گردید پارامترهای بدون بعد مؤثر بر C_m عبارتند از:

$$C_m=(Fr_1, L/B, w/y_1, w/l' \qquad (۱۰)$$

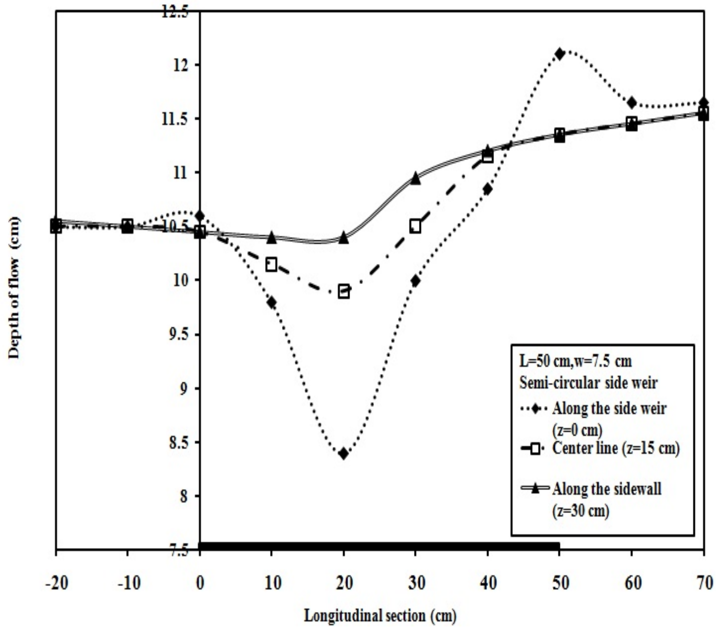
شکل (۷) تغییرات C_m را در برابر $\frac{w}{y}$ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود رابطه‌ی مستقیم بین ضریب C_m با $\frac{w}{y}$ وجود دارد به‌طوری که با افزایش مقدار $\frac{w}{y}$ ، C_m نیز روند رو به رشدی را از خود نشان می‌دهد؛ این روند در تمامی مدل‌ها به‌وضوح مشخص است. آزمایش‌ها در سه ارتفاع مختلف سرریز انجام گرفت. بنابراین تغییرات پارامتر $\frac{w}{y}$ بیشتر وابسته به تغییرات y_1 می‌باشد. شیب افزایش C_m بیان‌کننده‌ی حساسیت بالای C_m به تغییرات عمق آب در بالادست سرریز می‌باشد. آزمایش‌ها نشان داد هنگامی که جریان ورودی کم است، سطح آب در بالادست سرریز پایین‌تر می‌رود و سطح جریان در طول سرریز دارای شرایط یکنواخت‌تر می‌باشد؛ هم‌چنین مقدار اغتشاشات جریان و افت انرژی در طول سرریز کمتر است از این‌رو، عملکرد سرریز بهتر است.

شکل (۸) تغییرات C_m را در برابر Fr_1 برای $\frac{w}{l'}$ مختلف در بازشدگی ٦۰ سانتی‌متر نشان داده است. همان‌طور که در شکل مشهود می‌باشد با افزایش $\frac{w}{l'}$ میزان C_m کاهش می‌یابد. در حقیقت می‌توان گفت با توجه به ثابت در نظر گرفتن l' ، افزایش ارتفاع سرریز تأثیر منفی بر عملکرد سرریز جانبی می‌گذارد.

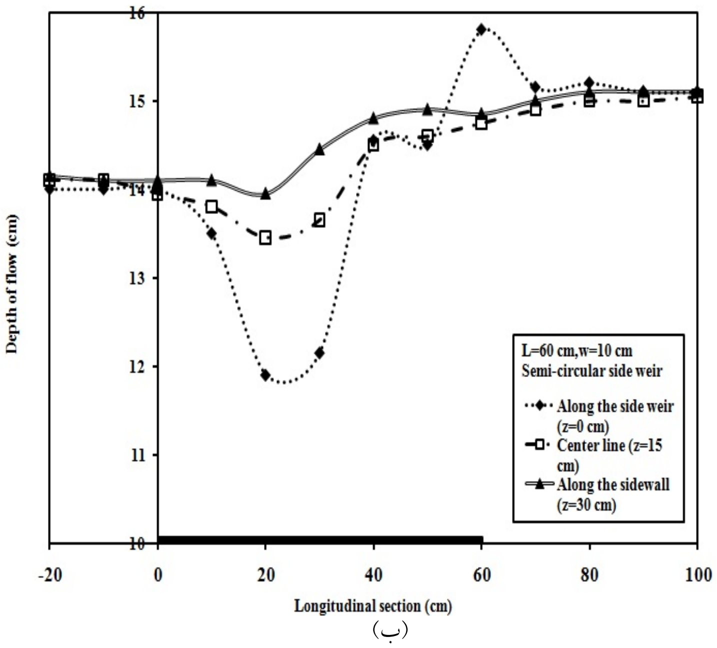
شکل (۹) تغییرات C_m را در برابر Fr_1 در بازشدگی‌های مختلف نشان می‌دهد. نتایج نشان داد ضریب C_m رابطه‌ی معکوس با Fr_1 دارد. با افزایش مقدار عدد فرود در بالادست سرریز جانبی در کانال اصلی کاهش در میزان ضریب تخلیه‌ی سرریز (C_m) دیده می‌شود. به عبارت دیگر تمایل سرریزهای جانبی به جریان‌های آرام می‌باشد. با افزایش Fr_1 افت انرژی در طول سرریز افزایش می‌یابد. این افزایش در اثر افزایش جریان‌های گردابی و اغتشاشات جریان، به‌خصوص در حوضچه‌ی جلوی سرریز جانبی است که در نتیجه باعث افت در عملکرد سرریز می‌شود. هم‌چنین شکل (۹) نشان می‌دهد که افزایش طول

سرریز (L) منجر به افزایش طول مؤثر سرریز می‌گردد و در نتیجه جریان عبوری از روی سرریز افزایش می‌یابد. به‌طور کلی افزایش پارامتر $\frac{L}{B}$ موجب افزایش C_m می‌شود.

برای مقایسه بین سرریزهای مورد آزمایش و سرریزهای نرمال، مقادیر C_m از سه رابطه‌ی سابرامانیا و آواسی [3]، هیگر [2] و برقعی و همکاران [9] محاسبه گردید. شکل (۹) نشان می‌دهد سرریز جانبی نیم‌دایره‌ای عملکرد بهتری نسبت به سرریز نرمال دارد و استفاده از سرریزهای نیم‌دایره‌ای ضریب تخلیه سرریزهای جانبی را ۱.۵ تا ۲ برابر نسبت به سرریزهای نرمال افزایش می‌دهد.



(الف)

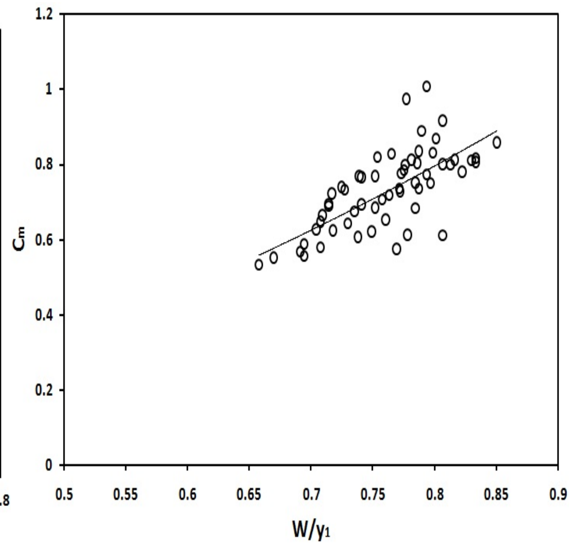


(ب)

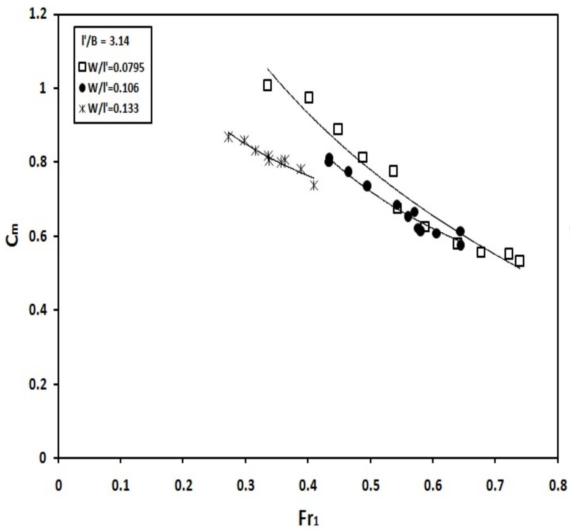
شکل ٦ پروفیل سطح جریان در طول سرریز جانبی نیم‌دایره‌ای

جدول ۲ محدوده تغییرات متغیر های آزمایش

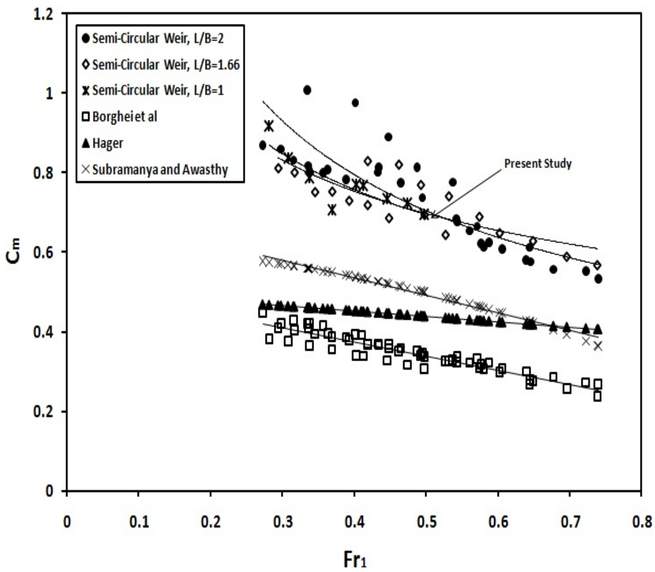
geometry	Weir length L (cm)	Weir height W (cm)	Discharge Q (L/s)	Froud number (Fr_1)
Semi-circular	30,50,60	12.5,10,7.5	10-30	0.27-0.74



شکل ۷ تغییرات C_m با $\frac{w}{y_1}$



شکل ۸ تغییرات C_m با Fr_1 برای نسبت‌های مختلف $\frac{w}{l'}$



شکل ۹ تغییرات C_m با Fr_1 در نسبت‌های مختلف L/B

برای برآورد ضریب C_m سرریز نیم‌دایره‌ای با استفاده از پارامترهای بدون بعد مؤثر بر آن رابطه‌ی زیر ارائه گردید:

$$C_m = \left[1.235 + 0.69\left(\frac{w}{y_1}\right)^{16.202} + 0.538\left(\frac{L}{B}\right)^{-13.148} - 34.432\left(\frac{w}{l'}\right)^{2.49} - 0.932(Fr_1)^{1.274}\right]$$

که در آن w ارتفاع سرریز، y_1 عمق جریان در بالادست سرریز جانبی، L طول بازشدگی، B عرض کانال اصلی، l' طول مؤثر سرریز و Fr_1 عدد فرود بالادست می‌باشد. محدوده‌ی تغییرات پارامترهای مورد آزمایش در جدول زیر آورده شده است.

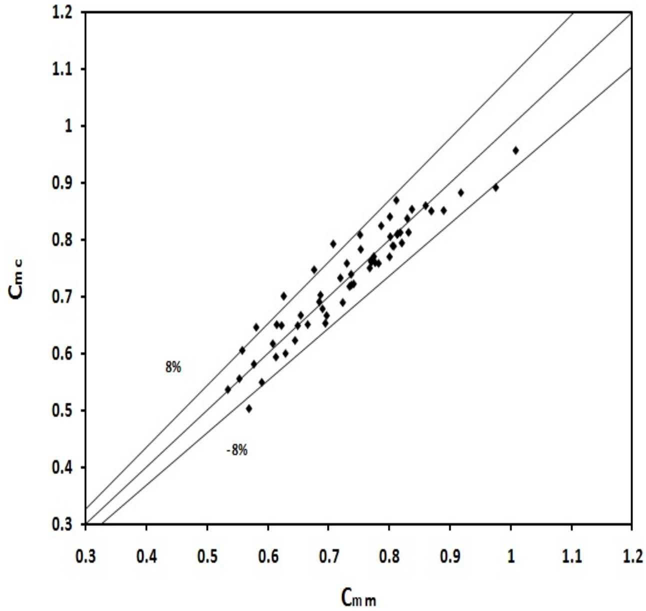
به منظور بررسی صحت رابطه ارائه شده ۳ پارامتر R^2، MAE و RMSE محاسبه گردید. مقادیر MAE و RMSE از روابط زیر به‌دست می‌آید:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(F_i - f_i)^2}{N}} \qquad (۱۲)$$

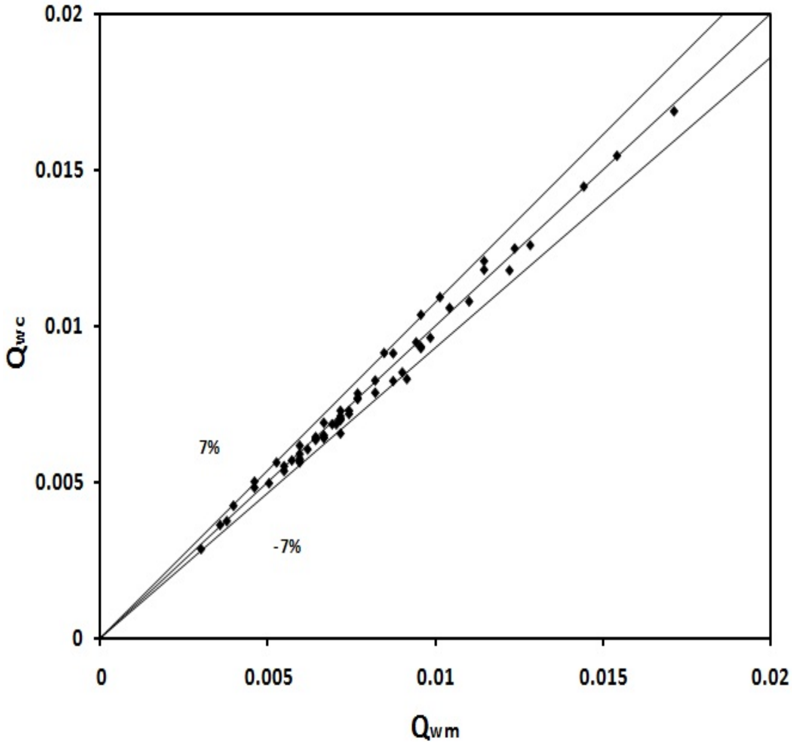
$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{N}(F_i - f_i)}{N} \qquad (۱۳)$$

که در آن F ضرایب تخلیه‌ی مشاهده‌شده، f مقادیر ضریب تخلیه تخمین زده‌شده و N تعداد آزمایش‌های انجام‌شده می‌باشد. مقادیر پارامترهای R^2، MAE و RMSE برای رابطه‌ی (۱۱) به‌ترتیب برابر با ۰.۹ ، ۰.۰۲٦ و ۰.۰۳٤ می‌باشد.

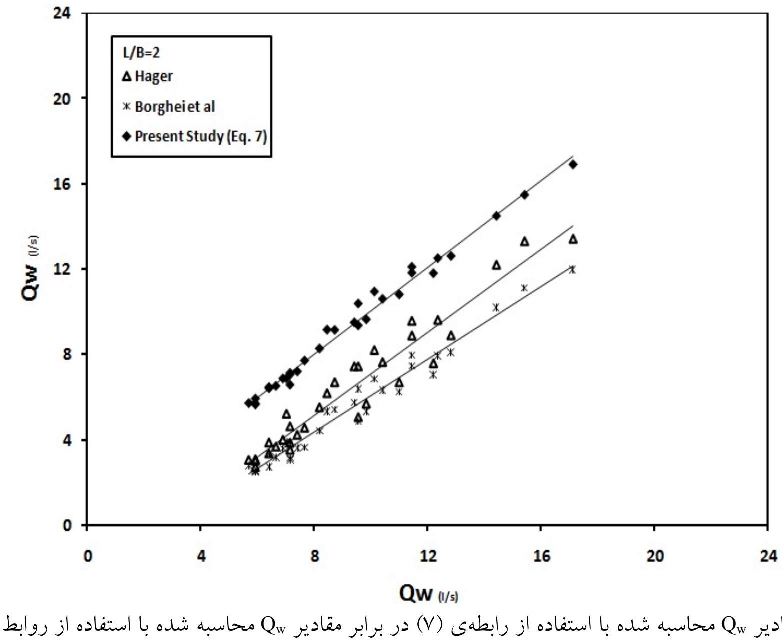
شکل (۱۰) مقادیر C_m اندازه‌گیری شده را در برابر مقادیر C_m محاسبه شده با استفاده از رابطه‌ی (۱۱) را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر به‌دست آمده از رابطه‌ی (۱۱) نزدیک به مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. هم‌چنین شکل (۱۱) مقادیر Q_w اندازه‌گیری شده را در برابر Q_w محاسبه شده با استفاده از رابطه‌ی (۱۱) را نشان می‌دهد. برای برآورد مقدار دبی خروجی از روی سرریز از معادلات دی مارچی (معادله‌های (۱)و (۲)) و رابطه‌ی (۱۱) استفاده کرده و با روش سعی و خطا مقدار دبی خروجی از روی سرریز به‌دست می‌آید. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر Q_w با خطا کمتر از ٪۷ با استفاده از رابطه‌ی (۱۱) محاسبه گردیده است. در شکل (۱۲) مقادیر Q_w محاسبه شده با استفاده از رابطه‌ی (۱۱) را در برابر مقادیر Q_w به‌دست آمده با استفاده از روابطه هیگر [2] و برقعی و همکاران [9] را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که سرریز نیم دایره‌ای در مقایسه با سرریزهای نرمال جریان بیشتری را از روی خود عبور می‌دهند.



شکل ۱۰ مقایسه‌ی مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسباتی C_m



شکل ۱۱ مقایسه‌ی مقادیر اندازه‌گیری و محاسباتی Q_w



شکل ۱۲ مقادیر Q_w محاسبه شده با استفاده از رابطه‌ی (۷) در برابر مقادیر Q_w محاسبه شده با استفاده از روابط هیگر [2] و برقعی و همکاران [9]

بحث و نتیجه‌گیری

آزمایش‌ها نشان داد که پروفیل سطح جریان بر روی سرریزهای نیم‌دایره‌ای دارای افتی در دهانه‌ی ورودی سرریز می‌باشند که این افت بر رفتار جریان در کانال

اصلی نیز تأثیر می‌گذارد.

با توجه به آنالیز ابعادی، پارامترهای مؤثر بر روی ضریب تخلیه‌ی سرریزهای جانبی نیم‌دایره‌ای عبارتند از w/l', w/y_1, L/B, Fr_1. نتایج نشان می‌دهد که ضریب C_m سرریزهای نیم‌دایره‌ای رابطه‌ی مستقیم با دو پارامتر $\frac{L}{B}$ و $\frac{w}{y_1}$ و رابطه‌ی عکس با دو پارامتر Fr1 و $\frac{w}{l'}$ دارد. با توجه به نتایج آزمایش‌ها بهترین حالت برای طراحی هنگامی است که $1.5 \le \frac{L}{B} \le 2$ باشد. افزایش بیش از اندازه‌ی طول سرریز موجب افزایش طول جدایش و باعث کاهش عملکرد سرریز می‌شود.

اگر L طول سرریز نرمال باشد، طول مؤثر سرریز نیم‌دایره‌ای برابر با 1.57L می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که افزایش طول مؤثر سرریز باعث افزایش راندمان سرریز و بالا رفتن کارایی آن می‌شود. به‌طوری‌که استفاده از سرریزهای نیم‌دایره‌ای به‌جای سرریزهای نرمال، ضریب تخلیه را ۱.۵ تا ۲ برابر افزایش می‌دهد و به‌طور متوسط باعث افزایش ۲۰٪ جریان انتقالی از روی سرریز می‌گردد.

مراجع

1. De Marchi, G., "Sagio di teoria di fuzionamente degli stramazzi laterali. L'Elettrica, Millano, Italy", 11(11), pp. 849-860, (1934).
2. Hager, W. H. "Lateral outflow over side weirs", *J Irrig Drain Eng ASCE,* 113(4), pp. 491–504, (1987).
3. Subramanya, K., & Awasthy, S. C., "Spatially varied flow over side weirs", *J Hydraul Div ASCE,* 98(HY1), pp.1–10, (1972).
4. Yu-Tech, L., "Discussion of spatially varied flow over side weir", *J Hydraul Eng ASCE,* 98(11), pp. 2046–2048, (1972).
5. El-Khashab. A., and Smith. K. V. H.," Experimental investigation of flow over side weirs", *J. Hydr. Engrg.,* ASCE, 102(9), pp. 1255-1268, (1976).
6. Ranga Raju, K. G., Prasad, B., & Grupta, S. K.,"Side weir in rectangular channels", *J Hydraul Div ASCE Proc,* 105(HY5), pp. 547–554, (1979).
7. Swamee. P. K., and Pathak. S. K., and Ali. S. M.," Side weir analysis using elementary discharge coefficient", *J. Irrig. and Drain. Engrg.,* ASCE, 120(4), pp. 742-755, (1994).
8. Singh, R., Manivannan, D., & Satyanarayana, T., "Discharge coefficient of rectangular side weirs", *J. Irrig Drain Eng ASCE Proc,* 120(4), pp. 814–819, (1994).
9. Borghei, S.M., Jalili, M. R., & Ghodsian, M.,"Discaharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow", *J. Hydraul Eng.*125(10), pp.1051–1056, (1999).
10. Emiroglu, M. E., Agaccioglu, H., & Kaya, N., "Discharging capacity of rectangular side weirs in straight open channels", Flow Measurement and Instrumentation, pp. 319–330, (2011).
11. Ura, M., Kita, Y., Akiyama, J., Moriyama, H., & Kumar Jha, A., "Discharge coefficient of oblique side weirs", *J. Hydroscience and Hydraulic Engrg.,* JSCE, 19(1), pp. 85-96, (2001).

۱۲. نکوئی،م.،" بررسی و تعیین ضریب دبی سرریز جانبی منقاره‌ای به‌صورت آزمایشگاهی"، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد دانشگاه

صنعتی شریف، (۱۳۸۵).

13. Borghei. S. M., Parvane. A., "Discharge characteristics of modified oblique side weir in subcritical flow", Flow Measurement and Instrumentation, 22 (2011), pp. 370–376, (2011).

14. Emiroglu, M. E., Kaya, N., & Agaccioglu, H., "Discharge capacity of labyrinth side weir located on astraight channel", *J Irrig Drain Eng ASCE,* 136 (1), pp. 37– 46, (2010).

15. Kaya, N., Emiroglu, M.E., & Agaccioglu, H., "Discharge coefficient of a semi-elliptical side weir in subcritisal flow", Flow Measurment and Instrumentation. 22 (1), pp.25-32, (2011).

16. Emiroglu, M. E., Kaya, N., "Discharge Coefficient for Trapezoidal Labyrinth Side Weir in Subcritical Flow",Water Resour Manage , 25, pp. 1037–1058, (2011).